

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**katedra energetiky**

**Návrh metodiky ověření provozních parametrů chladicího čerpadla bloku 110MWe**

**Operating Parameters Verification of Feed Water Pump of Unit 110MWe**

**Student:**

**Kolářík Oldřich**

**Vedoucí projektu:**

**Ing. Radim Janalík, CSc.**

**Ostrava 2010**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Oldřich Kolářík**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3907R004 Provoz a řízení v energetice  
Téma: **Návrh metodiky ověření provozních parametrů chladicího čerpadla  
bloku 110 MWe  
Operating Parameters Verification of Feed Water Pump  
of Unit 110 MWe**

Zásady pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- teorii měření charakteristik odstředivých čerpadel
- způsob měření průtoků, tlaků a teplot vody v potrubí
- způsob měření elektrického příkonu pohonu čerpadla
- příklad zpracování měřených hodnot na čerpadla v místě provozní instalace
- zhodnocení dosažených parametrů

Seznam doporučené odborné literatury:

1. RAJNIAK a kolektiv. *Tepelno-energetické a emisné meranie*. Ister Science, 1997
2. AMBROS, F. *Experimentální metody a technika*. Praha, ČVUT, 1993
3. ČSN EN ISO 9906. *Hydrodynamická čerpadla - přejímací zkoušky*, 2000
4. ČSN EE ISO 5167. *Měření průtoků tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku*, 2003


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

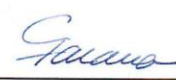
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Janalík, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
prof. Ing. Pavel Kolat, DrSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2010 .....

..... Kolář Oldřich .....

podpis studenta

### PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Janalíkovy, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Ostravě dne 19. 5. 2010 .....

..... Kolář Oldřich .....

(podpis autora)

**Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5.2010 .....

*Kolářik Oldřich* .....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Oldřich Kolářik  
Adresa trvalého pobytu autora práce: Janského 10, Olomouc, 77900

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KOLÁŘÍK, O. Návrh metodiky ověření provozních parametrů chladicího čerpadla bloku 110 MWe: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2010, 38 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Radim Janalík, CSc.

Bakalářská práce se zabývá metodikou ověření provozních parametrů chladicího čerpadla bloku 110 MWe v provozních podmínkách. V úvodu je seznámení s garantovanými hodnotami a se zárukami od dodavatele čerpadla. Na základě naměřených veličin je vyhotovena reálná charakteristika čerpadla a porovnána s garantovaným bodem čerpadla prezentovaným výrobcem. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky zkoušky, zda čerpadlo splňuje nebo nesplňuje garantované hodnoty.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

KOLÁŘÍK, O. Operation Parameter Verification of Feed water Pump of Unit 110 MWe: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2010, 38 p. Thesis head: Ing. Radim Janalík, CSc.

The thesis deals with operating parameters verification of feed water pump of unit 110 MWe unit in operating conditions. Based on measured values an actual pump characteristic is made out and it is compared with the guaranteed point of the pump given by manufacturer. Results are evaluated in the end and based on the comparison, it is decided whether a pump fulfils the guaranteed volues or not.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek</b>	<b>7</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2 Popis měřených veličin při garančních zkouškách</b>	<b>9</b>
2.1 Veličiny a definice .....	9
2.2 Postup měření čerpadla .....	11
2.3 Chyby měření .....	12
2.3.1 Celková chyba měření .....	12
2.3.2 Určení chyby měření účinnosti .....	13
2.4 Měření elektrického příkonu .....	14
2.4.1 Měření příkonu v trojfázové síti .....	15
2.4.2 Měření příkonu 3 fázové souměrné zátěže .....	15
2.4.3 Měření příkonu 3 fázové nesouměrné zátěže .....	15
2.4.4 Měření příkonu 3 fázového zátěže s měřicími transformátory .....	16
2.4.5 Měření elektrického příkonu elektromotoru na chladícím čerpadle ...	17
<b>3 Měření průtoků vody v kanálech velkých průměrů</b>	<b>18</b>
3.1 Způsoby měření průtoku tekutin .....	18
3.1.1 Objemový průtok .....	18
3.1.2 Hmotnostní průtok .....	18
3.1.3 Proteklé množství .....	18
3.2 Základní metody .....	19
3.2.1 Clona .....	20
3.2.2 Venturiho trubice: .....	21
3.2.3 Dýza: .....	21
3.2.4 Turbínkové průtokoměry: .....	22
3.2.5 Vírové průtokoměry: .....	22
3.2.6 Ultrazvukové průtokoměry: .....	24
3.3 Měření objemového průtoku .....	26
<b>4 Zpracování naměřených hodnot</b>	<b>28</b>
4.1 Zpracování a výpočet naměřených hodnot .....	30
4.1.1 Hodnoty tolerančních součinitelů .....	33
4.2 Zaručované hodnoty .....	33
<b>5 Závěr</b>	<b>37</b>
<b>6 Literatura</b>	<b>38</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

d	Průměr potrubí	[m]
g	Gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
n	Otáčky	[s <sup>-1</sup> ]
p	Tlak	[Pa]
t	Čas	[s]
H	Celková dopravní výška	[m]
P	Příkon	[W]
$\dot{Q}_m$	Hmotnostní průtok	[kg·s <sup>-1</sup> ]
$\dot{Q}_v$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
S	Průřez potrubí	[m <sup>3</sup> ]
U	Střední rychlost proudění	[m·s <sup>-1</sup> ]
η	Účinnost	[%]
ρ	Hustota čerpané kapaliny	[kg·m <sup>-3</sup> ]

### Seznam dolních indexů

1	V sání
2	Ve výtlaku
c	Celková
č	Čerpadla
el	Elektrický motor
G	Garantovaný
SP	Spojky

# 1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá metodikou ověření tepelně-technických parametrů na chladícím čerpadle pro chlazení kondenzátu v parní elektrárně bloku 110 MWe, v provozních podmínkách. Práce zahrnuje jak charakteristiky, tak také odchylky a chyby, které k měření neodmyslitelně patří. Následně jsem zpracoval řešení měření průtoků vody v kanálech velkých průměrů.

Měření ověřovaného napájecího čerpadla provedla katedra energetiky, od které byly naměřené hodnoty veličin převzaty a dále zpracovány. Na čerpadle bude měřen tlak, průtok a elektrický příkon čerpacího soustrojí. Tyto měřené hodnoty jsou následně graficky vyhodnoceny a přepočteny podle normy ČSN EN ISO 9906. Vytvoří se charakteristika  $H(\dot{Q})$ ,  $\eta(\dot{Q})$  z vypočtených hodnot a v této charakteristice se vytvoří podle normy toleranční kříž. Z grafického porovnání naměřené provozní charakteristiky čerpadla s tolerančním křížem, zhodnotíme, zda ověřované čerpadlo splňuje zaručované parametry uváděné výrobcem/dodavatelem.



## 2 POPIS MĚŘENÝCH VELIČIN PŘI GARANČNÍCH ZKOUŠKÁCH [1, 2, 6]

Významnou skupinou zkoušek tvoří provozní zkoušky, kde se ověřují obvyklé funkce čerpadla před jeho uvedením do provozu. Pohon čerpadla zajišťuje třífázový asynchronní elektromotor, na kterém měříme otáčky, proud, napájecí napětí a kmitočet. Výkon motoru se dopočítává, stejně jako účinnost motoru. Tlak měříme v sacím potrubí před čerpadlem a ve výtlačném potrubí za čerpadlem. Objemový průtok se měří ve výtlačku čerpadla.

### 2.1 Veličiny a definice

**Otáčky:** počet otáček za jednotku času

**Hustota:** hmotnost za jednotku objemu

**Výkon:** energie přenesená za jednotku času

**Tlak:** síla na jednotku plochy

**Dopravní výška:** energie na jednotku hmotnosti kapaliny dělená gravitačním zrychlením

**Objemový průtok:** objemový průtok ve výstupním průřezu výtlačného hrdla čerpadla

$$\dot{Q}_2 = \frac{q}{\rho} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

**Manometrický tlak:** přetlak – tento tlak je větší než atmosférický tlak

podtlak – tento tlak je menší než atmosférický tlak

**Střední rychlost proudění:** průtok dělený průřezem potrubí

$$U = \frac{\dot{Q}}{S} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

**Celková sací výška čerpadla:** je dopravní výška ve vstupním průřezu sacího hrdla čerpadla

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_1^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

**Celková výtlačná výška čerpadla:** je dopravní výška ve výstupním průřezu výtlačného hrdla čerpadla

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

**Celková dopravní výška:** je algebraický rozdíl mezi celkovou výtlačnou výškou a celkovou sací výškou čerpadla. Je-li stlačitelnost zanedbatelná, platí  $H = H_2 - H_1$

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Kde:  $z$  – je výška středu průřezu od základní roviny

$p$  – je manometrický tlak vztažený ke středu tohoto průřezu

**Výkon čerpadla:** mechanická energie převedená na kapalinu

$$P_{\epsilon} = \rho \cdot \dot{Q} \cdot g \cdot H \quad [\text{W}] \quad (6)$$

**Celková účinnost čerpadla:** podíl výkonu čerpadla a příkonu pohonu čerpadla

$$\eta = \frac{P_{\epsilon}}{P} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

**Účinnost čerpadla:** zahrnuje účinnost pohonu, čerpadla a spojky mezi čerpadlem a pohonem

$$\eta_c = \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{sp} \quad [\%] \quad (8)$$

## 2.2 Postup měření čerpadla [1]

Doba trvání zkoušek se stanoví tak, aby dostačovala k získání odpovídajících výsledků s ohledem na stupeň přesnosti, kterého musí být dosaženo.

Všechny měření se provádějí při neustálých provozních podmínkách. Jednotlivé provozní body se nastavují škrcením ve výtlačném potrubí čerpadla, protože v sacím potrubí čerpadla se škrcení nepovoluje.

Pro ověření určeného zaručovaného pracovního bodu musí být získány hodnoty pro nejméně 3 měřené body (u zkoušek podle stupně přesnosti 2) nebo 5 měřených bodů (u zkoušek podle stupně přesnosti 1), které jsou pravidelně rozmístěny v nejbližším okolí zaručovaného pracovního bodu. Je-li provoz nebo konstrukce čerpadla takový, že nastávají oscilace s velkou amplitudou, smějí být měření provedena za pomoci tlumícího zařízení umístěného v měřicím přístroji nebo v jeho připojovacím potrubí, které je schopno snížit amplitudy oscilací do rozmezí hodnot uvedených v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1. Dovolená amplituda oscilací v procentech střední hodnoty měřené veličiny [1]

Měřená veličiny	Dovolená amplituda oscilací pro	
	stupeň přesnosti 1 %	stupeň přesnosti 2 %
Průtok	±3	±6
Celková dopravní výška čerpadla		
Točivý moment		
Příkon		
Otáčky	±1	±2

Než se zahájí měření, musí být jmenován vedoucí zkoušek, který má dostatek zkušeností s měřicími postupy. Pokud se zkoušky provádějí ve výrobním podniku, je většinou jmenován vedoucím zkoušek pracovník tohoto podniku.

Přesnost měření nezávisí pouze na kvalitě použitých zkušebních měřicích přístrojů, ale také na schopnostech a zručnostech osob, které při zkouškách s těmito měřicími přístroji pracují a provádějí odečítání měřených hodnot. Obsluha pověřená prováděním zkoušek se proto musí vybírat stejně pečlivě jako měřicí přístroje použité při zkouškách.

## 2.3 Chyby měření [1]

Každé měření je nevyhnutelně zatíženo chybami, a to i tehdy, když postup měření a použité měřicí přístroje a také metody rozboru plně odpovídají předpisům. Chyba měření částečně závisí na zbytkové nepřesnosti přístroje nebo použité metody měření. I po odstranění veškerých známých chyb kalibrací, pečlivým měřením rozměrů, správnou instalací apod. zůstává chyba, která nikdy nezmizí, a nemůže být zmenšena ani opakovanými měřeními při použití stejného měřicího přístroje a stejné metody měření. Tuto chybu nazýváme systematickou chybou.

Použity by měli být pouze měřicí přístroje nebo metody, o nichž je na základě kalibrace nebo odkazů na jiné normy známo, že zabezpečí měření se systematickou chybou, která nepřesáhne maximální dovolené hodnoty v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2 Dovolené hodnoty systematických chyb [1]

veličina	dovolená hodnota pro	
	stupeň přesnosti 1 %	stupeň přesnosti 2 %
Průtok	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
Otáčky	$\pm 0,35$	$\pm 1,4$
Točivý moment	$\pm 0,9$	$\pm 2,0$
Celková dopravní výška čerpadla	$\pm 1,0$	$\pm 2,5$
Příkon pohonu	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$

### 2.3.1 Celková chyba měření

Tato náhodná chyba může být způsobena buď vlivem charakteristických vlastností měřicího systému, nebo vlivem změn měřené veličiny, popř. v důsledku jejich spolupůsobení, se přímo projevuje jako rozptyl měření. Na rozdíl od systematické chyby je však možno náhodnou chybu zmenšit tak, že zvýším počet měření téže veličiny za stejných podmínek měření. Tato celková chyba měření by podle mezinárodní normy neměla přesáhnout maximální hodnoty uvedené v tabulce 2.3.

Tabulka 2.3 Dovolené hodnoty celkových chyb měření účinnosti [1]

Veličina	Značka	Dovolená hodnota pro	
		stupeň přesnosti 1 %	stupeň přesnosti 2 %
Průtok	$e_Q$	$\pm 2,0$	$\pm 3,5$
Otáčky	$e_n$	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$
Točivý moment	$e_T$	$\pm 1,4$	$\pm 3,0$
Celková dopravní výška čerpadla	$e_H$	$\pm 1,5$	$\pm 5,5$
Příkon pohonu	$e_{P_{gr}}$		
Příkon čerpadla (vypočtený z točivého momentu a otáček)	$e_P$		
Příkon čerpadla (vypočtený z příkonu a účinnosti pohonu)	$e_P$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$

### 2.3.2 Určení chyby měření účinnosti

Celková chyba měření účinnosti čerpacího soustrojí a účinnosti čerpadla se vypočítá z následujících vztahů:

Určení chyby měření účinnosti

$$e_{ngr} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_{P_{gr}}^2}$$

$$e_{ngr} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_T^2 + e_n^2} \text{ (je-li účinnost vypočtena z točivého momentu a otáček)}$$

$$e_{ngr} = \sqrt{e_Q^2 + e_H^2 + e_P^2} \text{ (je-li účinnost vypočtena z příkonu čerpadla)}$$

Při použití hodnot uvedených v tabulce 2.3, jsou výsledkem výpočtu hodnoty uvedené v tabulce 2.4.

Tabulka 2.4 Výsledné hodnoty celkových chyb měření účinnosti [1]

Veličina	Značka	Výsledná hodnota pro	
		stupeň přesnosti 1 %	stupeň přesnosti 2 %
Účinnost čerpacího soustrojí (vypočtena z $\dot{Q}$ , H a $P_{gr}$ )	$e_{\eta gr}$	$\pm 2,9$	$\pm 6,1$
Účinnost čerpadla (vypočtena z $\dot{Q}$ , H T a n)	$e_{\eta}$	$\pm 2,9$	$\pm 6,1$
Účinnost čerpadla (vypočtena z $\dot{Q}$ , H, $P_{gr}$ a $\eta_{mot}$ )	$e_{\eta}$	$\pm 3,2$	$\pm 6,4$

## 2.4 Měření elektrického příkonu [6]

U čerpadel se jedná o měření na zařízeních, která mají elektrický příkon od desítek kW až do stovek MW. To znamená měření 3-fázového příkonu při elektrických napětích 3x400V nebo 3x 6000V. Z hlediska hodnoty příkonu se jedná pouze o měření velikost jeho činné složky a účinníku ( $\cos \varphi$ ). Hodnoty jalového příkonu a hodnoty zdánlivého příkonu nejsou v případě těchto měření podstatné.

Volba přístroje pro měření elektrického příkonu závisí na požadavcích na formu měřených hodnot vhodných pro další zpracování a vyhodnocení. Nejedná se o nějakou komplikovanou nebo složitou diagnostiku, řešící např. nesymetrie vysokonapěťové sítě, vlivy přechodových elektromagnetických jevů apod., ale pouze o měření okamžité hodnoty činného příkonu.

Pro tyto měření jsou používány 1 nebo 3 fázové wattmetry nebo analyzátory sítí v různém zapojení. Analyzátory sítí na rozdíl od běžných wattmetrů mají možnost další diagnostiky v měřené 3 fázové soustavě. Jak již bylo ale zmíněno, tato diagnostika se při garančních zkouškách většinou nevyužívá.

Při garančních zkouškách čerpadel možno pro měření elektrického příkonu použít 3 fázové monitory sítí od různých výrobců, např. ELKOM (typ DEWE2010, ENA 300 nebo 440), YOKOGAWA (typ WT230, WT1600). Uvedené přístroje mají třídy přesnosti 0.5 až 0.1 (v závislosti na typu), což jsou hodnoty požadované při garančních zkouškách.

### 2.4.1 Měření příkonu v trojfázové síti

K měření příkonu se používají elektrodynamické wattmetry nebo méně často feromagnetické wattmetry. Wattmetry musí obsahovat jak cívku proudovou, tak i cívku napěťovou. 3-fázová síť je možno si představit, jako síť složenou ze tří jednofázových sítí.

Pro volbu zapojení, které se použije pro měření příkonu, je dobré vědět, jestli se jedná o napěťovou soustavu symetrickou nebo nesymetrickou a zda je zátěž souměrná nebo nesouměrná.

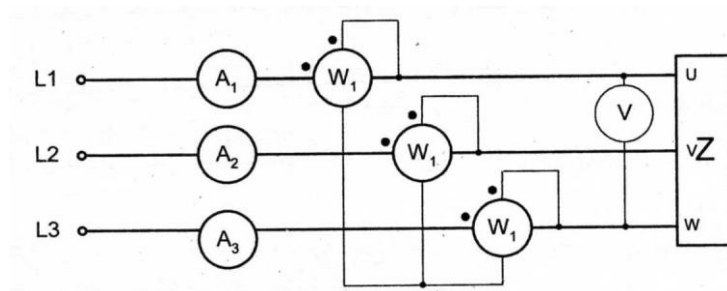
### 2.4.2 Měření příkonu 3 fázové souměrné zátěže

Měříme-li příkon souměrné 3 fázové zátěže (všechny 3 fáze jsou zatíženy stejným proudem, platí potom  $P_1 = P_2 = P_3$ ), můžeme k měření příkonu použít jeden 1-fázový wattmetr.

### 2.4.3 Měření příkonu 3 fázové nesouměrné zátěže

Pokud bychom měřili příkon nesouměrné 3 fázové zátěže pomocí jednoho wattmetru, dopustili bychom se značné chyby, protože příkon každé fáze může být jiný. Nutné v tomto případě je měření pomocí 3 wattmetru. Schéma zapojení měření pomocí 3 wattmetrů nebo jednoho 3-fázového wattmetru je uvedeno na obrázku 2.1.

Obr. 2.1 Schéma zapojení měření elektrického příkonu pomocí 3 wattmetrů [6]



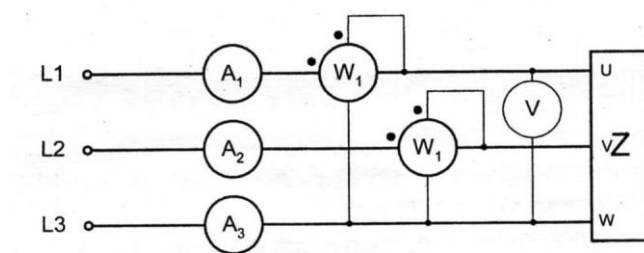
Existuje ale i možnost použít wattmetrů méně než 3 s využitím tzv. Blondelova teorému.

**Blondelův teorém :** Pro měření činného příkonu v n-vodičové soustavě postačí pro správné měření  $(n - 1)$  wattmetrů. Měření je správné i pro nesymetrickou soustavu napětí a nesouměrnou zátěž. Ve 4vodičové soustavě stačí k měření příkonu tři wattmetry, ve

3vodičové soustavě dva wattmetry.

Pro měření příkonu nesouměrné 3 fázové zátěže v 3vodičové soustavě můžeme dle Blondelova teorému použít pouze 2 wattmetry. Zapojení pro měření příkonu 3 fázové zátěže se 2 wattmetry se nazývá Aronovo zapojení. Schéma zapojení měřících přístrojů pro měření příkonu při Aronově zapojení se dvěma wattmetry je uvedeno na obrázek 2.2

Obr. 2.2 Schéma zapojení měření příkonu při Aronově zapojení se 2 wattmetry [6]



#### 2.4.4 Měření příkonu 3 fázového zátěže s měřícími transformátory

Měření příkonu střídavého proudu s měřícími transformátory proudu se používá pro měření příkonu zátěží, jimiž protéká vyšší proud než jsou rozsahy použitých měřících přístrojů. Měřící transformátory proudu se používají ke změně rozsahů střídavých ampérmetrů. Primární vinutí se připojí do série se zátěží, kterou protéká měřený proud a na sekundární vinutí měřícího transformátoru se připojují jednotlivé přístroje (ampérmetr, proudová cívka wattmetru, elektroměr) sériově.

Při vysokých napětích (6kV~, 10kV~) jsou použity měřící transformátory napětí (s převodem např. 6000V~/100V~) měnící měřené napětí konstantním poměrem nejčastěji na úroveň okolo 100V~. Použité měřící transformátory proudu a napětí musí být odpovídajícího rozsahu, aby při měřených příkonech byly zatíženy na cca 50 % jmenovitého voltampérického zatížení. Jejich třída přesnosti musí být taková, aby výsledná celková nejistota měření odpovídala požadavkům na realizované měření. Pro garanční zkoušky jsou většinou používány provozní měřící transformátory proudu a napětí u kterých je požadována třída přesnosti 0.5, výjimečně třídy 0.2 nebo lepší. Není možno používat měřící transformátory pro ochrany, které mají třídu přesnosti 5 až 10.



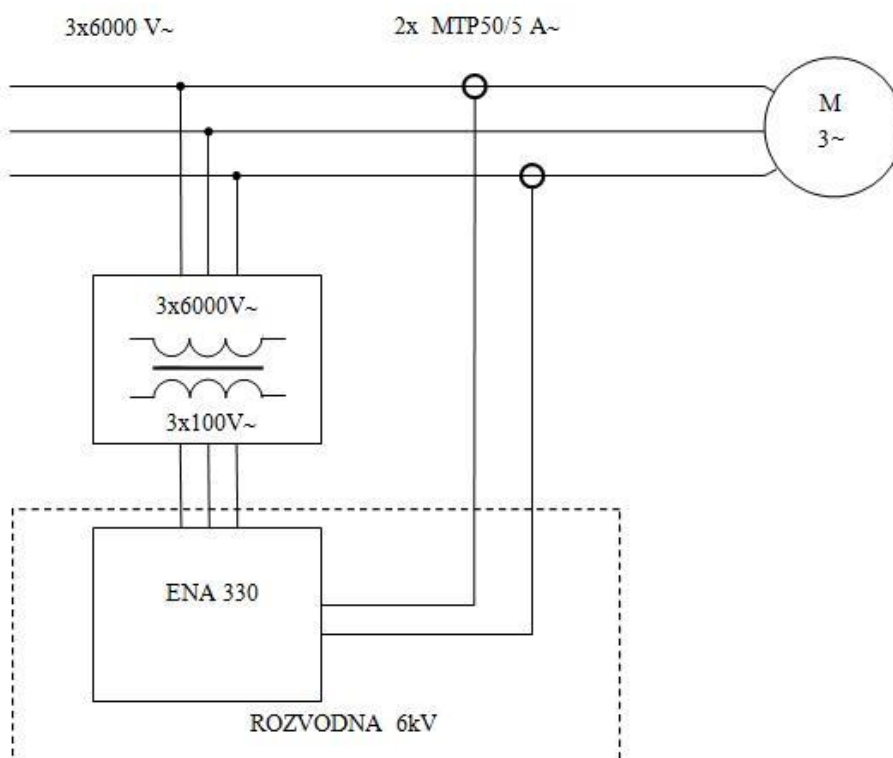
## 2.4.5 Měření elektrického příkonu elektromotoru na chladicím čerpadle

Elektrický příkon elektromotoru pro pohon měřeného chladicího čerpadla 21 a 22 byl měřen v rozvodně VN 6 kV, Analyzátor sítí ENA 330 byl připojen na provozních měničích napětí 6kV/100V třídy přesnosti 0.5 a provozních měničích proudu 50/5A~ třídy přesnosti 0.5. Stávající proudové a napěťové měniče sloužící pro měření odebrané energie provozním elektroměrem.

Měření napětí, proudu a fázového posunu bylo provedeno v Aronově zapojení. Výsledný příkon čerpadla byl vypočten z naměřených hodnot napětí, proudu a fázového posunu.

Pro měření elektrického příkonu na svorkách elektromotoru byl použit měřicí přístroj „analyzátor sítí ENA330“ s nejistotou měření  $<0,5\%$  a proudové kleště. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 2.3.

Obr. 2.3 Schéma zapojení měření elektrického příkonu elektromotoru na chladicím čerpadle [6]



### 3 MĚŘENÍ PRŮTOKŮ VODY V KANÁLECH VELKÝCH PRŮMĚRŮ [4, 5]

Měření průtoku tekutin patří mezi důležité oblasti měření neelektrických veličin. Existuje velké množství principů, které jsou používány pro měření průtoku, i různé typy průtokoměrů.

#### 3.1 Způsoby měření průtoku tekutin [5]

Pojem průtok se často používá jak pro označení rychlosti proudění, tak i jako označení hmotnostního nebo objemového průtoku. Ovšem mezi těmito pojmy je určitý rozdíl.

##### 3.1.1 Objemový průtok

Objemovým průtokem  $\dot{Q}_v$  označujeme objem tekutiny, který proteče potrubím za jednotku času ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Pro zjištění objemového průtoku se využívá měření pomocí rozdílů tlaků nebo výpočet z rychlosti proudění tekutiny v potrubí o známém průřezu. Předpokládáme ovšem, že tekutina vyplňuje celé potrubí, což nemusí vždy odpovídat skutečnosti. Při měření průtoku kapalin je někdy potřeba provádět korekci objemového průtoku na změny tlaku a teploty. U měření průtoku plynů a par musíme dané korekce provádět vždy vzhledem ke stlačitelnosti proudícího média.

##### 3.1.2 Hmotnostní průtok

Hmotnostní průtok  $\dot{Q}_m$  [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ] udává hmotnost tekutiny, které projde potrubím za jednotku času. Pro přímé měření existují dvě základní metody - průtokoměry založené na Coriolisově principu a tepelné hmotnostní průtokoměry. Nepřímo lze hmotnostní průtok vypočítat z objemového průtoku a ze známé hodnoty hustoty proudící tekutiny.

$$\dot{Q}_m = \dot{Q}_v \cdot \rho \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (9)$$

##### 3.1.3 Proteklé množství

Je to objem nebo hmotnost tekutiny prošlé určitým místem potrubí za určitou dobu. Mezi průtokoměry, které měří proteklé množství, patří plynoměry nebo vodoměry v domácnostech.

### 3.2 Základní metody [5]

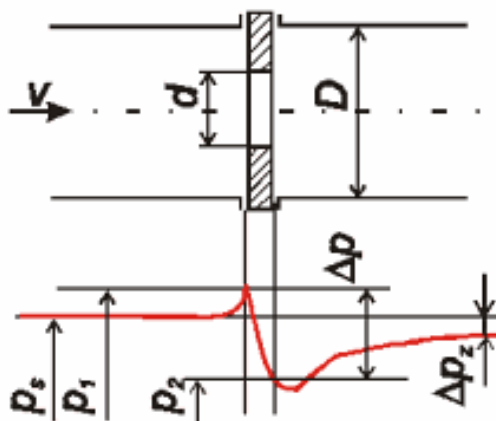
Mezi základní metody měření průtoku tekutiny patří:

- 1) Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru
- 2) Měření rychlosti proudění tekutiny
- 3) Měření objemového průtoku
- 4) Měření hmotnostního průtoku

Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru:

Většina průmyslových průtokoměrů je založena právě na měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru. Základní skupinou těchto průtokoměrů jsou škrticí orgány (viz obr. 3.1), mezi které patří clona, dýza, Venturiho trubice, atd. Dále mezi průtokoměry založené na snímání difference tlaku patří rychlostní sondy (Pitotova trubice, víceotvorová rychlostní sonda, Prandtlova trubice, kulová sonda, válcová sonda a jiné), kolenový průtokoměr, plováčkové průtokoměry, atd.

Obr. 3.1 Tlakové poměry v okolí škrticího orgánu [5]



$v$  – rychlost proudění [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$d$  - průměr otvoru škrticího orgánu (na obrázku je uvedena normalizovaná clona) [m]

$D$  - průměr potrubí [m]

$p_s$  - vstupní statický tlak [Pa]

$p_1$  - snímaný tlak před škrticím orgánem [Pa]

$p_2$  - snímaný tlak za škrticím orgánem [Pa]

$\Delta p$  - diferenční tlak ( $p_1 - p_2$ ) [Pa]

$\Delta p_z$  - trvalá tlaková ztráta [Pa]

Tlakové poměry v potrubí při proudění popisuje Bernoulliho rovnice. Ta vyjadřuje zákon zachování mechanické energie v tekutinách, podle kterého při stejných podmínkách tlak v tekutině klesá s nárůstem rychlosti jejího proudění. K tomuto jevu dojde, pokud do potrubí, ve kterém proudí tekutina, vložíme překážku. Rychlost proudění (kinetická energie) tekutiny při průchodu překážkou roste při poklesu statického tlaku v tekutině (potenciální energie). Rozdíl tlaků před a za překážkou je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti proudění (závisí také na tvaru překážky):

$$v = k \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (10)$$

Kde:

$v$  - rychlost proudění tekutiny [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$k$  - konstanta určující vlastnosti primárního prvku průtokoměru [-]

$\Delta p$  - diferenční tlak [Pa]

$\rho$  - hustota tekutiny [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

### 3.2.1 Clona

Clona je v podstatě plochá kovová deska s otvorem, která je umístěna do potrubí mezi příruby. Průměr škrticího otvoru a jeho umístění závisí na typu měřené tekutiny. Odběry statických tlaků jsou prováděny těsně před a za deskou, kdy existují dva základní typy odběrů - koutové odběry a přírubové odběry.

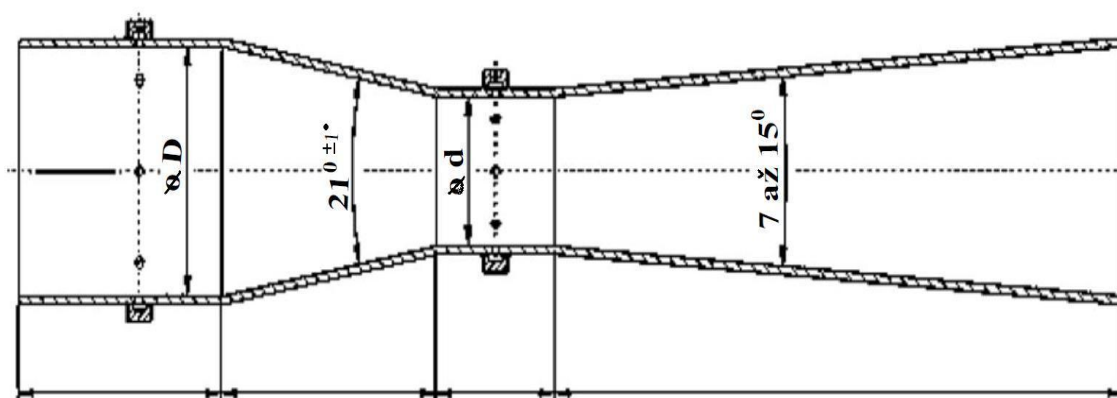
Mezi základní typy clon patří clona soustředná (normalizovaná), excentrická a segmentová. Průtokoměry se škrticí clonou jsou robustní a i při velkých průměrech potrubí jsou relativně levné. Clonou lze měřit průtok většiny čistých tekutin. Jsou však náchylné vůči opotřebení, které může být způsobeno znečištěným médiem nebo médiem s částicemi. To může ovlivnit tlakovou diferenci odpovídající určitému průtoku. Aby se dosáhlo požadovaných vlastností, musí být clona zabudována do přímého úseku potrubí s předem

definovanými uklidňujícími úseky před a za clonou (uklidňující potrubí před a za průtokoměrem je udáváno u všech typů průtokoměrů, ovšem u normalizované clony bývají tyto úseky jedny z nejdelších).

### 3.2.2 Venturiho trubice:

U Venturiho trubice (viz obr. 3.2) je tekutina zrychlena v kuželovém konfuzoru, což opět vyvolá místní pokles statického tlaku. V následující části trubice, difuzoru, se tlak téměř vrací na úroveň tlaku před zúžením. Výhodou Venturiho trubice je menší tlaková ztráta (4 až 20 % z měřeného diferenčního tlaku) než u clony a velká přesnost měření. Nevýhodou je poměrně vysoká cena, proto se Venturiho trubice využívá velmi málo

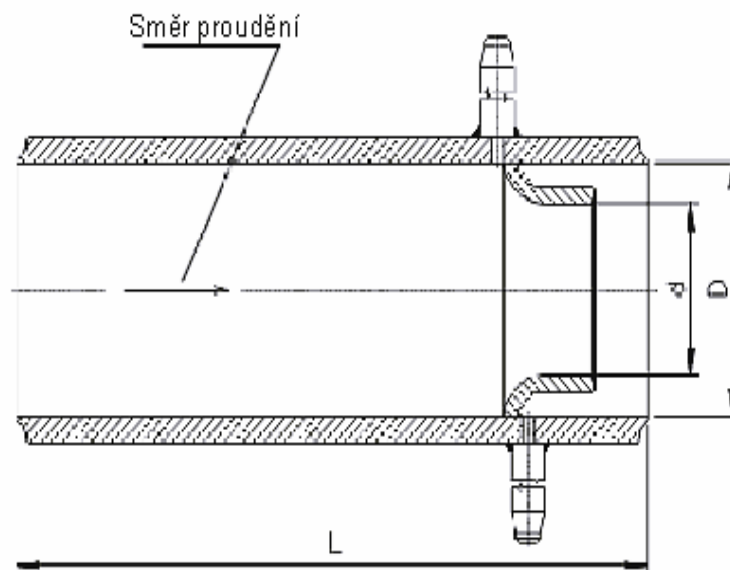
Obr. 3.2 Venturiho trubice [5]



### 3.2.3 Dýza:

Dýza (viz obr.3.3) je vlastně kompromis mezi clonou a Venturiho trubicí. Dýza na rozdíl od Venturiho trubice neobsahuje difuzor. Dýzy umožňují měřit větší průtok než clony a také umožňují měřit průtok u tekutin, které obsahují větší pevné částice. Navíc jsou dýzy levnější než Venturiho trubice, ale na druhou stranu jsou méně přesné a způsobují větší tlakovou ztrátu.

Obr. 3.3 Dýza [5]



### 3.2.4 Turbínkové průtokoměry:

Jejich základem je volně otočný rotor s lopatkami a montážní poloha v potrubí je libovolná. Rotor se vlivem proudění tekutiny otáčí, kdy otáčky jsou úměrné rychlosti proudění tekutiny. Otáčky bývají snímány bezdotykovým indukčním snímačem, kdy výstupem jsou napěťové impulsy, které se dále zpracovávají a vyhodnocují.

Výhodou turbínkových průtokoměrů je použití v širokém rozsahu měřených rychlostí, reprodukovatelnost měření i krátkodobá přesnost. Většinou se používají pro měření průtoku vody. Nevýhodou je, že je nelze použít u tekutin, které při proudění v potrubí víří, a nejsou doporučovány ani pro tekutiny s velkou viskozitou. Protože turbínkové průtokoměry obsahují pohyblivé části, jsou náchylné na opotřebování a na usazování nečistot.

### 3.2.5 Vírové průtokoměry:

Princip tvorby vírů v proudící kapalině je znám již dlouhou dobu, ale teprve po roce 1970 bylo tohoto jevu využito ke konstrukci průtokoměru.

Vírové průtokoměry jsou založeny na von Karnarově efektu, kdy po stranách překážky neaerodynamického tvaru, která je obtékána tekutinou, se střídavě na obou stranách oddělují víry, které vytvářejí tzv. von Karmanovou stezku. Frekvence vzniku vírů je v určitém rozsahu hodnot Reynoldsova čísla úměrná rychlosti proudění tekutiny, a proto i velikosti průtoku. Obecně jsou vírové průtokoměry určeny pro měření relativně čistých kapalin, plynů a par, obsahující pouze minimální množství pevných znečišťujících látek.

$$\frac{\dot{Q}_v}{f \cdot D^3} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{S_r} \cdot \frac{b}{D} \quad (11)$$

Kde

$\dot{Q}_v$  - objemový průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$f$  - základní frekvence vloženého tělesa [Hz]

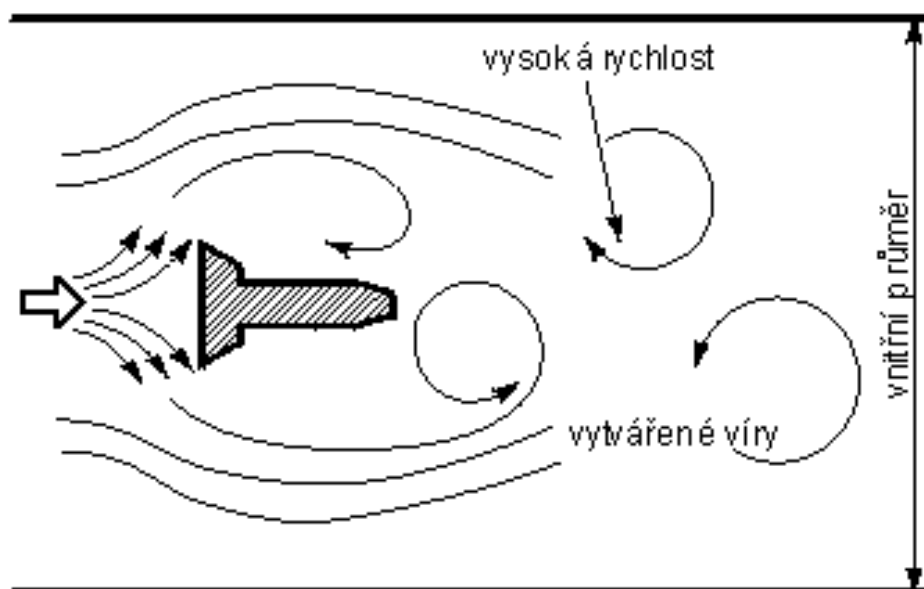
$D$  - průměr potrubí [m]

$b$  - šířka čelní plochy vloženého tělesa [m]

$S_r$  - Strouhalovo číslo vyjadřující rychlost změny rychlostního pole tekutiny v závislosti na čase [-]

Vznik vírů (viz. obrázek 3.4) za přepážkou je doprovázen změnou tlaku nebo rychlosti, což je snímáno vhodným senzorem a převedeno na elektrický signál (například piezoelektrický snímač nebo kapacitní diferenční snímač).

Obr. 3.4 Tvorba vírů za přepážkou [4]



Tvar obtékaného tělesa má rozhodující vliv na stabilitu periodického snímání virů. Hranolovitá tělesa s rovnou náběhovou čelní stěnou a definovanou rovinou snímání virů nejlépe vyhovují. Při periodické tvorbě virů na obou stranách tělesa dochází v důsledku tlakových změn k jeho namáhání. Toto namáhání snímáme tenzometrickými snímači. Frekvence výstupního signálu je stejná jako frekvence tvořících se virů.

Znamé typy vírových průtokoměrů se liší hlavně tvarem a velikostí vloženého tělesa, místem, kde je těleso v potrubí umístěno, a principem snímání.

Výhodou vírových průtokoměrů je to, že neobsahují pohyblivé součásti, jsou relativně necitlivé na změny teploty, tlaku nebo hustoty měřeného média.

Nevýhodou je, že vykazují trvalou tlakovou ztrátu, nelze je použít při velmi malých rychlostech proudění a při malých průtoku.

### **3.2.6 Ultrazvukové průtokoměry:**

Ultrazvukové průtokoměry používají pro měření rychlosti proudění tekutiny v potrubí ultrazvukového vlnění. Ultrazvukové průtokoměry můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Průtokoměry využívající Dopplerova jevu
- Průtokoměry, u nichž se měří doba průchodu ultrazvukového signálu

Průtokoměry, které využívají Dopplerově principu lze používat v případě, že proudící kapalina obsahuje částice odrážející zvuk (bubliny vzduchu nebo pevné částice). Bez těchto částic průtokoměr tohoto typu nepracuje. Průtokoměr je navržen tak, že vysílač a přijímač ultrazvuku je na jedné straně potrubí.

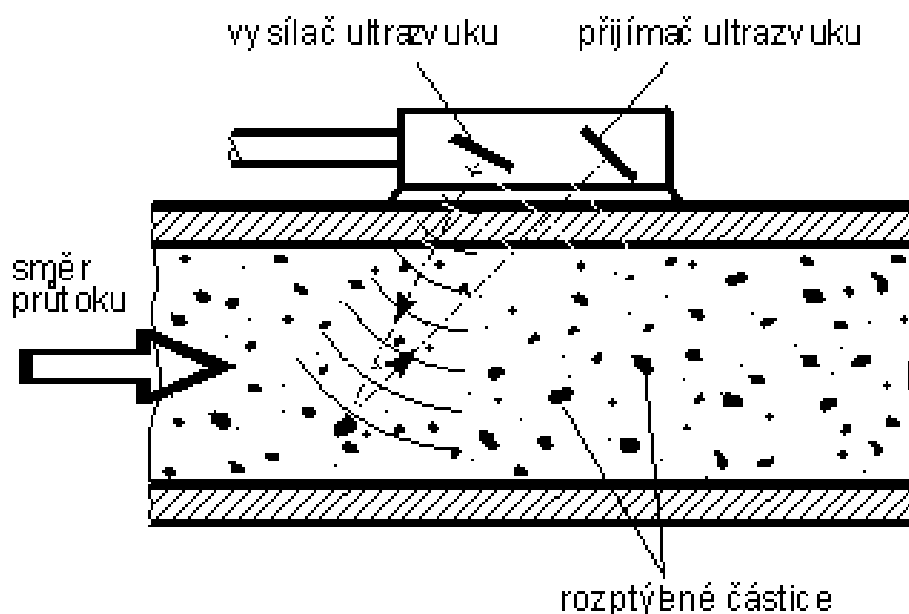
Ultrazvuková vlna je vysílačem odeslána do proudící kapaliny s konstantní frekvencí. V potrubí dochází k odrazu ultrazvuku od pohybujících se částic nebo od vzduchových bublin, které jsou rozptýleny v tekutině. Po zachycení odraženého signálu přijímačem se vyhodnocuje změna frekvence přijatého signálu. Vzhledem k pohybu částic nebo bublin s tekutinou, je frekvence přijatého ultrazvukového vlnění odlišná od frekvence vyslané vlny. Rozdíl frekvencí je pak úměrný rychlosti proudění tekutiny.

Přesnost měření závisí na profilu proudící kapaliny, velikosti potrubí, na obsahu a velikosti částic a bublin v kapalině.

Měření pomocí Dopplerova principu je zobrazeno na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 Průtokoměr založený na Dopplerově jevu [4]



Druhým typem ultrazvukového průtokoměru je přístroj, který je založen na principu měření doby průchodem médiem. U tohoto typu jsou v potrubí zabudovány dvě dvojice vysílače a přijímače ultrazvuku. Vysílač  $V_1$  vysílá impulsy ve směru proudění a vysílač  $V_2$  proti směru proudění viz obrázek 3.6.

Jeden z vysílačů vysílá ultrazvukový snímač po směru proudění a druhý proti směru proudění. Rozdíl mezi dobou průchodu obou signálů k druhé jednotce je úměrný rychlosti proudění tekutiny.

Ultrazvukový impuls, který je vyslán vysílačem  $V_1$  se šíří rychlostí  $c + v \cdot \cos \alpha$ .

Kde

$c$  – rychlost šíření ultrazvuku

$v$  – rychlost proudícího média

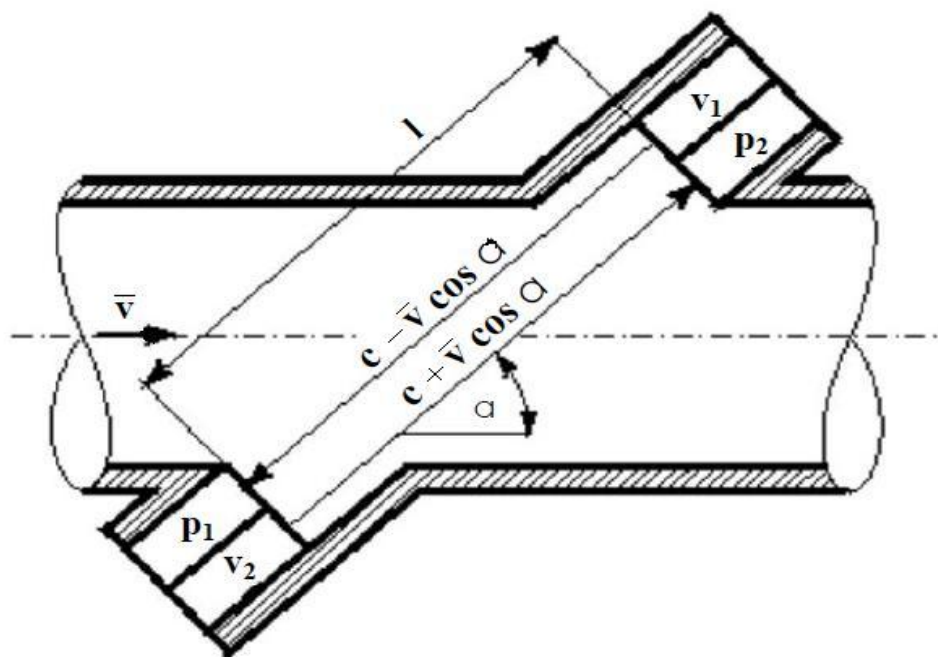
Časový interval mezi vysláním a příjmem impulsu po směru proudění:

$$t_1 = \frac{l}{c + v \cdot \cos \alpha} \quad [s] \quad (12)$$

Pro druhou dvojici vysílače  $V_2$  a přijímače  $P_2$  proti směru proudění:

$$t_1 = \frac{l}{c - v \cdot \cos \alpha} \quad [\text{s}] \quad (13)$$

Obr. 3.6 Ultrazvukový průtokoměr [4]



Na rozdíl od průtokoměrů založených na Dopplerově principu, tyto ultrazvukové průtokoměry měří pouze rychlost proudění čistých tekutin.

Ultrazvukové průtokoměry jsou technicky náročné na provedení a rovněž jejich kalibrace je obtížná. Velkou výhodou je to, že nezasahují do proudící kapaliny a dají se dodatečně zabudovat na povrch potrubí

Stejně jako elektromagnetické průtokoměry, tak i ultrazvukové průtokoměry jsou bezkontaktní, proto nezpůsobují tlakovou ztrátu, a také neobsahují pohyblivé části, které by se opotřebovávaly.

### 3.3 Měření objemového průtoku [5]

Průtokoměry určené pro měření objemového průtoku měří objem tekutiny přímo rozdělením objemu do samostatných odměrných prostor se známým objemem. Pokud vynásobíme známý objem odměrného prostoru počtem postupně naplněných prostor,

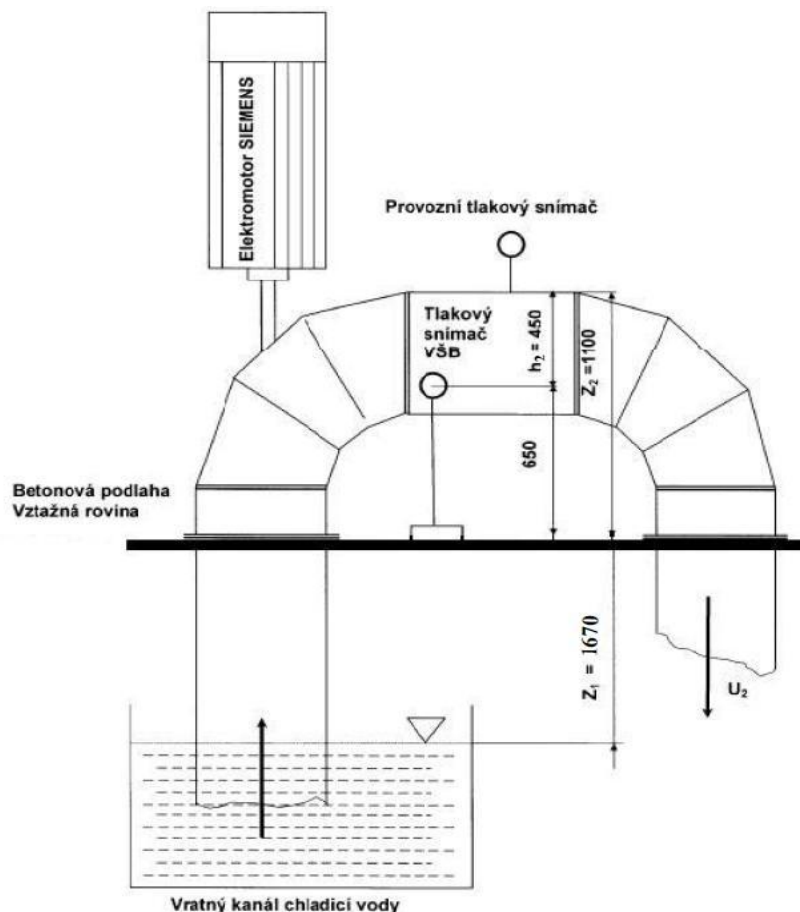
získáme hodnotu objemu tekutiny, která protekla potrubím za určitou měřenou dobu. Objemové průtokoměry obvykle na počítadle ukazují celkový proteklý objem, ale mohou mít na výstupu i impulsy odpovídající počtu naplněných prostor. Existuje velký počet těchto dávkovacích průtokoměrů, které se liší velikostí naplňovaných prostor, tvarem prostor, uložením lopatek atd. Patří sem například průtokoměr s krouživým pístem, oválové měřidlo, bubnové průtokoměry a další.

Vzhledem k tomu, že tyto průtokoměry obsahují velké množství pohyblivých částí, nejsou vhodné pro měření průtoku znečištěných kapalin a kapalin obsahujících pevné částice. Navíc způsobují tlakovou ztrátu. Vzhledem k tomu, že nelze objemové průtokoměry spolehlivě utěsnit, jsou nevhodné pro měření průtoku plynů.

## 4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

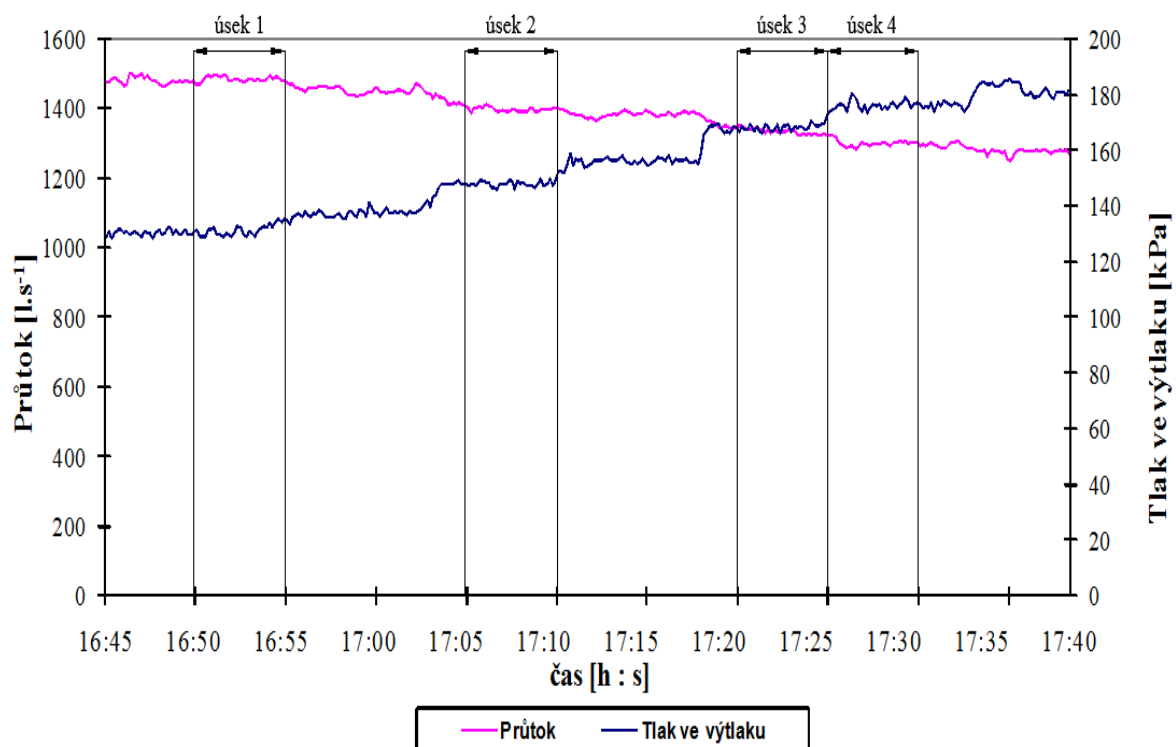
Měření bylo provedeno katedrou energetiky v místě provozní instalace čerpadla. Schéma měření je na obrázku 4.1.

Obr. 4.1 Určení sací výšky pro měření statického tlaku [7]

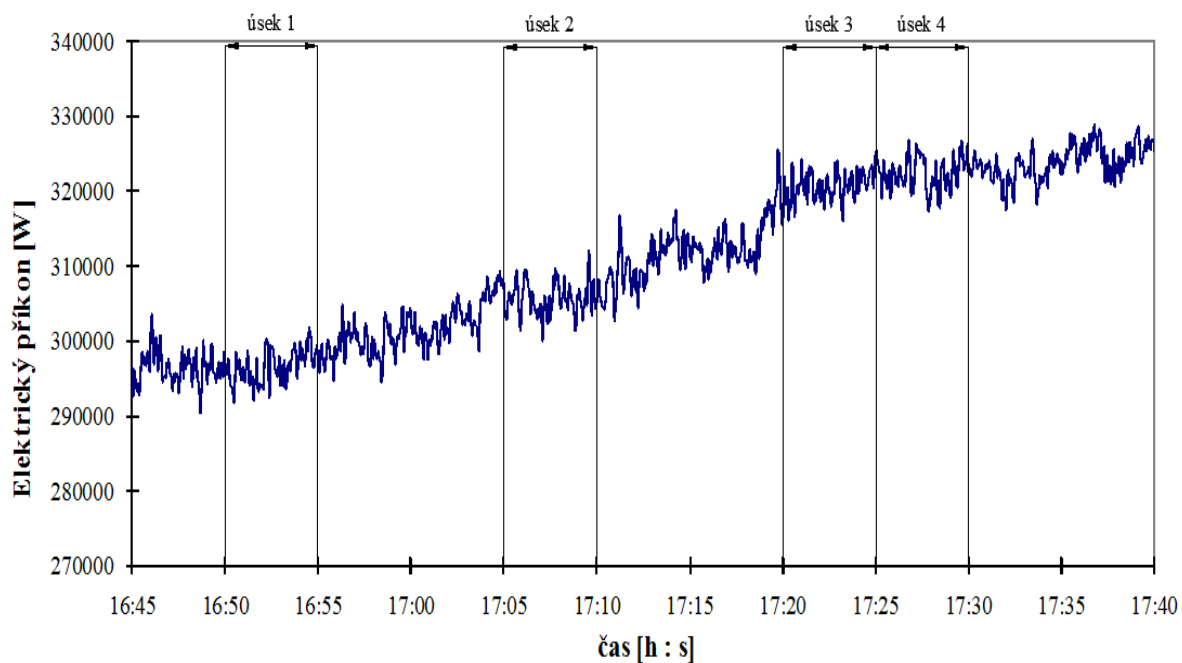


Zkoušky byly prováděny měřicími přístroji připojeny na počítač, kde byly hodnoty ukládány v 10s intervalech po předem domluvenou a nastavenou dobu. Mnou vyhodnocené hodnoty jsou od 16:45 do 17:40 a z těchto hodnot jsem následně vytvořil grafy závislosti průtoku, tlaku ve výtlačku a elektrického příkonu čerpacího soustrojí. V těchto závislostech jsem vybral ustálené úseky podle stupně přesnosti prováděné zkoušky. V mém případě stupeň přesnosti 2 pro 4 znázorněné úseky, které jsou v 5 minutových intervalech. Tyto grafy jsou označeny jako graf 4.1 a graf 4.2.

Graf 4.1 Naměřené hodnoty průtoku a tlaku



Graf 4.2 Naměřené hodnoty elektrického příkonu



Každý tento úsek zobrazuje průměrnou hodnotu tlaku ve výtlačku, průtoku a elektrického příkonu čerpacího soustrojí viz. tabulka 4.1.

Tabulka 4.1 Měřené veličiny

časový interval	měřený úsek	průtok $\dot{Q}$ [l/s]	tlak ve výtlačku $p_v$ [kPa]	elektrický příkon $P_{el}$ [kW]
16:50 - 16:55	1	1486,2	131,01	296,7
17:05 - 17:10	2	1399,1	147,78	305,7
17:20 - 17:25	3	1339,0	167,80	320,6
17:25 - 17:30	4	1306,0	174,20	322,4

#### 4.1 Zpracování a výpočet naměřených hodnot

Z průměrných hodnot tlaku ve výtlačku, průtoku a elektrickém příkonu čerpacího soustrojí viz. tabulka 4.1 dopočítávám střední rychlost proudění, dopravní výšku čerpadla a výkon čerpadla. Výkon čerpadla následně porovnávám s elektrickým výkonem čerpacího soustrojí a získám tak celkovou účinnost čerpadla. Nakonec dopočítám účinnost čerpadla.

##### Další parametry pro určení dopravní výšky čerpadla:

- výška od hladiny od vztažné roviny  $z = 1,69$  m
- průměr potrubí ve výtlačku  $d = 0,6$  m

**Střední rychlost proudění** se počítá v sání a ve výtlačku. V tomto případě počítáme rychlost proudění ve výtlačku, jelikož v sání je rychlost nulová. Počítá se podle vzorce (2)

$$U_2 = \frac{\dot{Q}_2}{S} = \frac{\dot{Q}_2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

$$U_2 = \frac{1486,2 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot 0,6^2}{4}} = 5,25 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde  $\dot{Q}_2$  – průtok ve výtlaku

S – průřez potrubí

d – průměr potrubí

**Dopravní výšku** počítáme z důvodu, abychom ověřili zaručovanou dopravní výšku. Tato výška se spočítá podle vzorce (5). Za g dosazujeme hodnotu gravitačního zrychlení ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) a za hustotu  $\rho$  dosazujeme čistou vodu ( $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

$$H = z + \frac{p_2 - p_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_2 - U_1}{2 \cdot g}$$

$$H = 1,69 + \frac{131,01 \cdot 10^3 - 0}{1000 \cdot 9,81} + \frac{5,25 - 0}{2 \cdot g} = 15,47 \text{ [m]}$$

kde  $z$  – výška od hladiny od vztažné roviny

$P_V$  – tlak ve výtlaku

$\rho$  – hustota čerpané kapaliny

$g$  – gravitační konstanta

**Výkon čerpadla** udává, jakou mechanickou energii musí čerpadlo vyvinout a předat čerpané kapalině. Počítá se podle vzorce (6). Výkon čerpadla se počítá z důvodu, abychom v dalším kroku mohli zjistit celkovou účinnost.

$$P_c = \dot{Q}_2 \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

$$P_c = 1,4862 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 15,47 = 225546,8 \text{ [W]}$$

Kde  $\dot{Q}_2$  – průtok ve výtlaku

H – dopravní výška čerpadla

**Celková účinnost** se počítá jako podíl výkonu čerpadla a příkonu pohonu. Počítá se podle vzorce (7).

$$\eta = \frac{P_{\text{č}}}{P} \cdot 100$$

$$\eta = \frac{2225546,8}{296659,44} \cdot 100 = 76,03 [\%]$$

kde  $P_{\text{č}}$  – výkon čerpadla

$P$  – příkon čerpadla

**Účinnost čerpadla** zahrnuje účinnost pohonu, čerpadla a spojky mezi čerpadlem a pohonem. Ve výpočtu účinnosti čerpadla jsem zanedbal účinnost spojky. Počítá se podle vzorce (8).

$$\eta_c = \eta_{\text{č}} \cdot \eta_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{sp}} \Rightarrow \eta_{\text{č}} = \frac{\eta_c}{\eta_{\text{el}}} \cdot 100$$

$$\eta_{\text{č}} = \frac{0,7603}{0,95} \cdot 100 = 80,03 [\%]$$

kde  $\eta_c$  – celková účinnost

$\eta_{\text{č}}$  – účinnost čerpadla

$\eta_{\text{el}}$  – účinnost elektrického pohonu

$\eta_{\text{sp}}$  – účinnost spojky

Výše uvedený výpočet je pro úsek 1. Pro další úseky jsou použité stejné vztahy a výsledky všech úseků jsou uvedeny v tabulce 4.2.



Tabulka 4.2 Vypočtené hodnoty sledovaných veličin

časový interval	měřený úsek	střední rychlost proudění $U [m \cdot s^{-1}]$	dopravní výška $H [m]$	výkon čerpadla $P_c [kW]$	celková účinnost $\eta_c [\%]$	Účinnost čerpadla $\eta_c [\%]$
16:50 - 16:55	1	5,25	15,47	225,5	76,03	80,03
17:05 - 17:10	2	4,95	17,98	246,8	80,72	84,97
17:20 - 17:25	3	4,74	19,92	261,7	81,62	85,92
17:25 - 17:30	4	4,62	20,50	262,6	81,46	85,75

#### 4.1.1 Hodnoty tolerančních součinitelů [1]

Každé čerpadlo má kvůli výrobní nepřesnosti na výrobních výkresech uvedena geometrické tolerance. Při porovnání výsledků zkoušek se zaručovanými hodnotami (v pracovních bodech) musí být připuštěny tolerance, zahrnující možné odchylky mezi provozními údaji zkoušeného čerpadla a čerpadla bez jakýchkoli výrobních nepřesností. Zavádějí se toleranční součinitele, které zjednodušují důkazy o dosažení zaručovaných hodnot. Pokud neexistuje žádná zvláštní dohoda o jejich dovolených hodnotách, musí být uplatněny hodnoty v tabulce 4.3. V mém případě hodnoty stupně přesnosti 2.

Tabulka 4.3 Výsledné Hodnoty tolerančních součinitelů [1]

Veličina	Značka	Dovolená hodnota pro	
		stupeň přesnosti 1 %	stupeň přesnosti 2 %
Průtok	$t_Q$	$\pm 4,5$	$\pm 8$
Celková dopravní výška čerpadla	$t_H$	$\pm 3$	$\pm 5$
Účinnost čerpadla	$t_\eta$	-3	-5

## 4.2 Zaručované hodnoty

Tyto hodnoty jsou garantovány výrobcem pro námi měřené čerpadlo

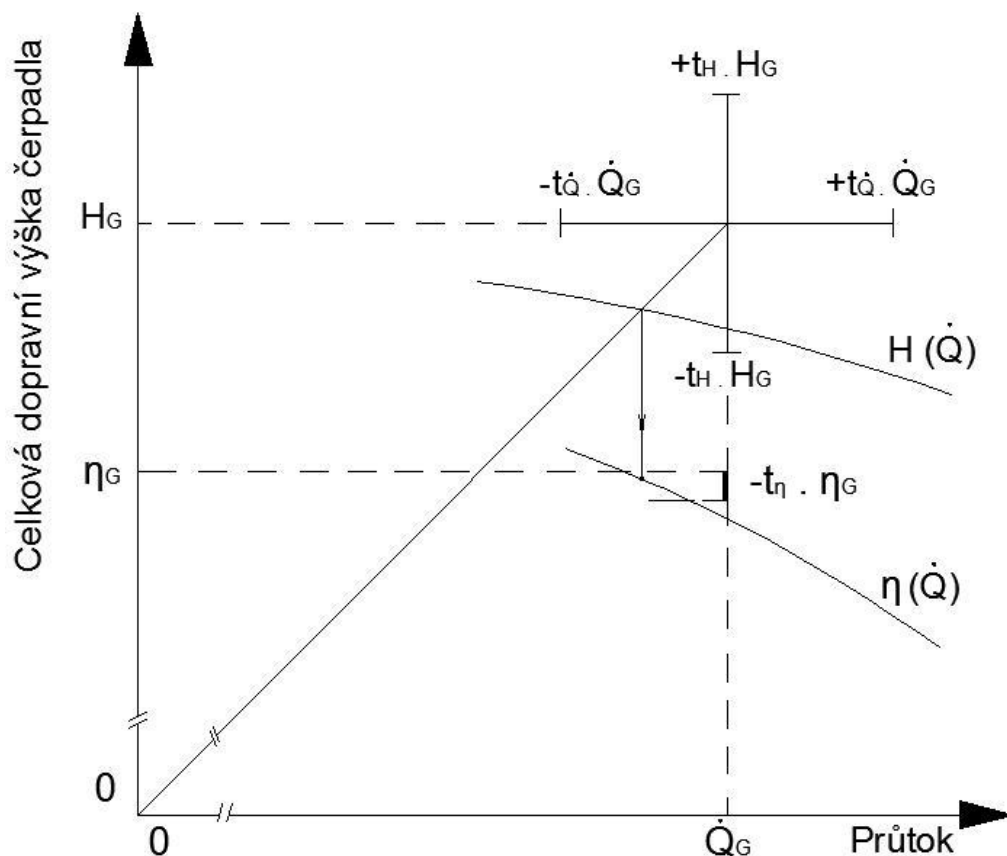
$$\text{Minimální průtok} \quad \dot{Q}_G = 1300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Celková dopravní výška} \quad H_G = 21 \text{ m}$$

$$\text{Celková účinnost} \quad \eta_G = 84 \text{ \%}$$

Z dopravní výšky  $H$  a z celkové účinnosti  $\eta_c$  se vytvoří grafická závislost na průtoku. Následně se v tomto grafu sestrojí zaručovaný pracovní bod, který tvoří garantovaná hodnota dopravní výšky a průtoku. Pro tento zaručovaný pracovní bod se vytvoří tzv. toleranční kříž, který tvoří příslušné tolerance průtoku a dopravní výšky ( $\pm t_Q \cdot \dot{Q}_G, \pm t_H \cdot H_G$ ) podle tabulky 4.3. Dále se vytvoří z vypočtených hodnot celkové účinnosti grafická závislost  $\eta(\dot{Q})$  pro ověření zaručovaných hodnot. Celková účinnost se považuje za splněnou leží-li v příslušném tolerančním rozsahu ( $-t_\eta \cdot \eta_G$ ). Ověření těchto parametrů je obecně zobrazen na obrázku 4.2.

Obr. 4.2 Ověření zaručovaných hodnot dopravní výšky, průtoku a účinnosti [1]



V našem případě:

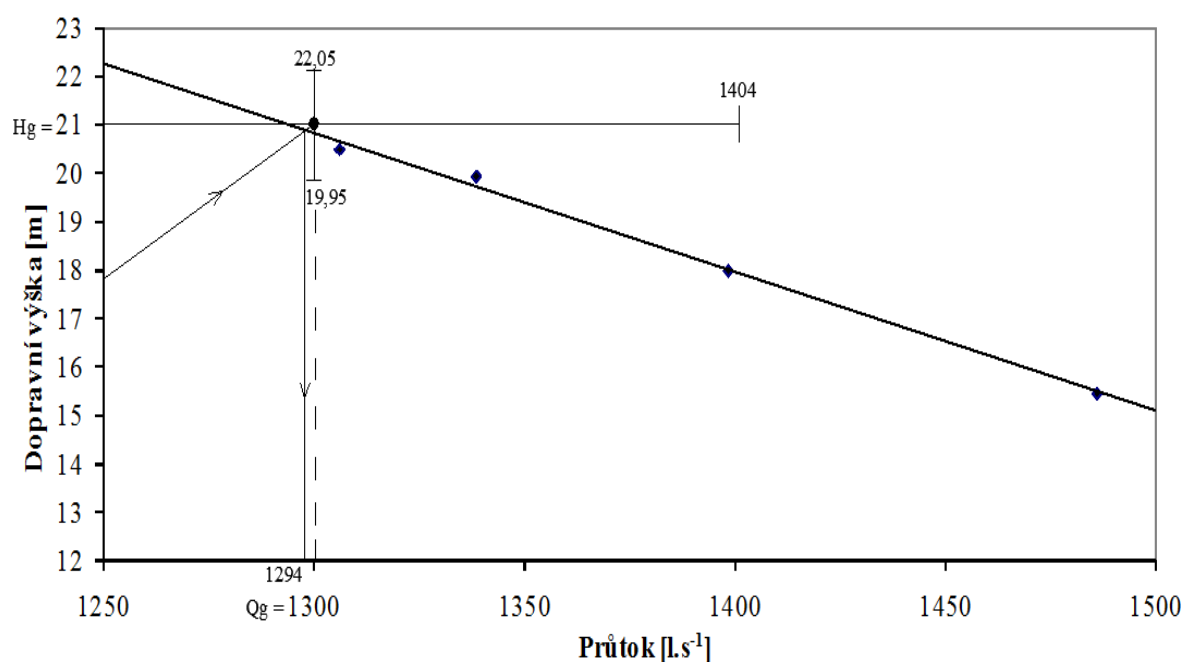
Toleranční kříž v ose x:  $\pm 104 \text{ [l·s}^{-1}\text{]}$  pro průtok

v ose y:  $\pm 1,05 \text{ [m]}$  pro dopravní výšku

Výsledná křivka závislosti  $H(\dot{Q})$  musí pro splnění záruk procházet zaručovaným pracovním bodem nebo tolerančním křížem tohoto bodu.

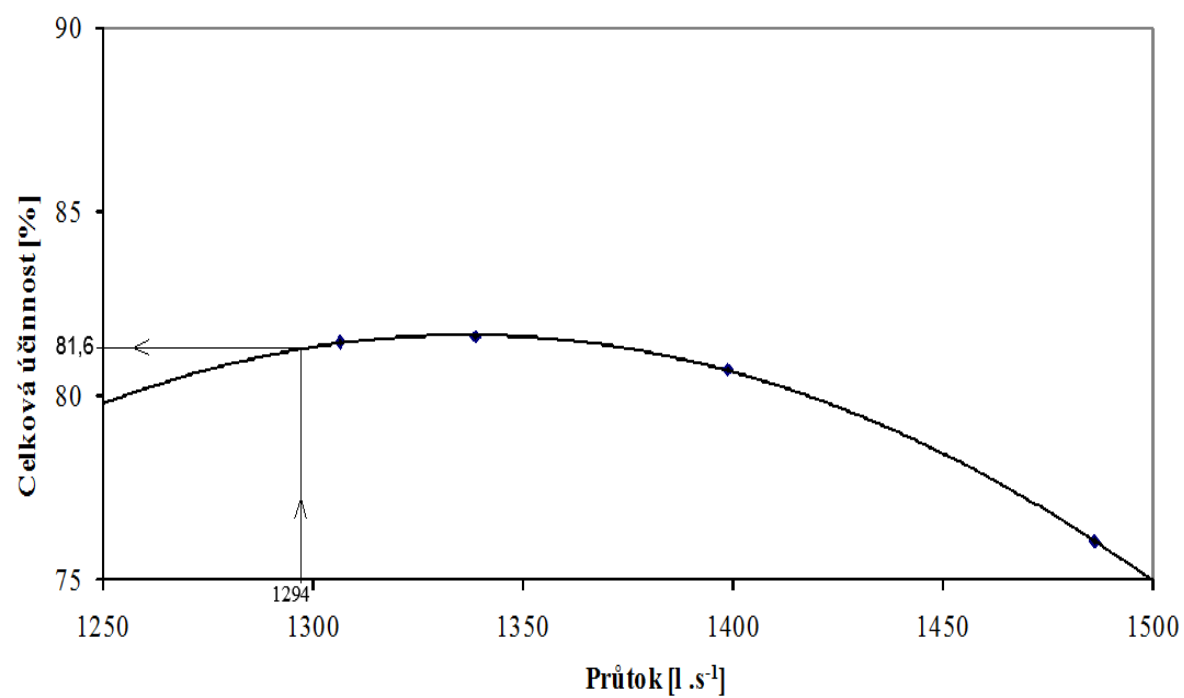
Dále se vytvoří přímka, která prochází počátkem souřadnic  $H-\dot{Q}$  a zaručovaným bodem. Kde se přímka setká s grafickou závislostí  $H(\dot{Q})$ , tak se od tohoto místa vede kolmice k ose průtoku. V našem případě kolmice má hodnotu 1294  $[\text{l}\cdot\text{s}^{-1}]$ . Tento postup je zobrazen v grafu 4.3.

Graf 4.3 Ověření zaručovaných parametrů dopravní výšky



Dále se vytvoří z vypočtených hodnot celkové účinnosti grafická závislost  $\eta(\dot{Q})$  pro ověření zaručovaných hodnot. Celková účinnost se považuje za splněnou leží-li v příslušném tolerančním rozsahu ( $-t_\eta \eta_G$ ). V našem případě v rozmezí 84 – 79,8%. V našem případě podmínka vyhovuje, viz graf 4.4.

Graf 4.4 Ověření zaručovaných parametrů účinnosti



## 5 ZÁVĚR

V první části jsem teoreticky vypracoval popis měřených veličin při garančních zkouškách, chyby měření a postup při měření.

Z důvodu velkého průměru v sání a ve výtlaku, které chladicí čerpadlo má jsem se ve druhé části zabýval problematikou měření průtoků, tlaků a teplot vody v potrubí o velkých průměrech.

Na závěr jsem z naměřených hodnot tlaku ve výtlaku, průtoku a elektrického příkonu čerpacího soustrojí vytvořil grafickou závislost (graf 4.1 a graf 4.2), ve kterých jsem vybral 4 ustálené úseky podle stupně přesnosti 2 v pěti minutových intervalech. Každý tento úsek zobrazuje průměrnou hodnotu viz. tabulka 4.1.

Z průměrných hodnot tlaku ve výtlaku, průtoku a elektrického příkonu čerpacího soustrojí dopočítávám pro každý úsek střední rychlost proudění, dopravní výšku čerpadla a výkon čerpadla. Výkon čerpadla následně porovnávám s elektrickým výkonem čerpacího soustrojí a získám tak celkovou účinnost čerpadla. Nakonec dopočítám účinnost čerpadla. Výsledky pro všechny úseky jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Z vypočtených hodnot jsem vypracoval grafickou závislost dopravní výšky a celkové účinnosti na průtoku. Křivky charakterizují měřené čerpadlo a pro splnění záruk musí charakteristiky dopravní výšky procházet zaručovaným pracovním bodem o hodnotách garantovaného průtoku  $\dot{Q}_G = 1300 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  a garantované dopravní výšky  $H_G = 21 \text{ m}$  nebo jeho tolerančním křížem (tolerance je dána stupněm přesnosti). Dále se ověří celková účinnost tak, že se vede přímka z počátku souřadnic  $H$  a  $\dot{Q}$  a garantovaným bodem. Tam kde protne charakteristiku dopravní výšky tak tam se vede svislá čára. V místě kde protne charakteristiku účinnosti je výsledná celková účinnost.

Garantovaný pracovní bod byl ověřen. Záruky od výrobce/dodavatele jsou splněny, neboť výsledná charakteristika celkové dopravní výšky protíná toleranční kříž kolem zaručovaného pracovního bodu čerpadla viz. graf 4.3.

Garantovaná celková účinnost byla ověřena. Záruky od výrobce/dodavatele jsou splněny, jelikož celková účinnost leží v příslušném tolerančním rozsahu ( $-t_{\eta} \cdot \eta_G$ ). V našem případě v rozmezí 84 – 79,8 % a to na hodnotě 81,6 % viz. graf 4.4.

## 6 LITERATURA

- [1] ČSN EN ISO 9906. Hydrodynamická čerpadla - přejímací zkoušky hydraulických výkonových parametrů – Stupeň přesnosti 1 a 2
  
- [2] RAJNIAK a kolektiv : Tepelno-energetické a emisné meranie. Ister Science, 1997
  
- [3] AMBROS,F.: Experinemtální metody a technika. Praha, ČVUT, 1993
  
- [4] <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm>
  
- [5] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4624&h=6&pl=37>
  
- [6] Dokumenty ČEZu popisující elektrické veličiny
  
- [7] Zpráva garančních zkoušek chladících čerpadel v ČEZu, a.s. – Elektrárna Tisová, VŠB prosinec 2008